

Особенности расчета и выбора параметров настройки устройств РЗА ВЛ 220 кВ при вводе в эксплуатацию реверсивных вставок постоянного тока

Е.А. ЛИР, Н.В. ФОМИЧЕВА
Филиалы ОАО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири, Забайкальское РДУ
Россия
LirEA@osib.so-ups.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Релейная защита, расчет токов короткого замыкания, вставка постоянного тока, выбор параметров, программный комплекс «АРМ СРЗА», методология, схема замещения.

1. ВВЕДЕНИЕ

С развитием силовой полупроводниковой техники для электроэнергетики появилась возможность применения вставок постоянного тока (далее – ВПТ) на основе силовых полупроводниковых преобразователей с полностью управляемыми вентилями. Учитывая широкие регулировочные возможности и высокие динамические показатели ВПТ, они позволяют решать целый ряд «классических» проблем электроэнергетических систем:

- обеспечение динамической устойчивости связей между энергосистемами;
- стабилизация переходных процессов;
- обеспечение необходимого качества послеаварийных режимов работы.

Данное обстоятельство позволяет говорить о принципиальном изменении подходов к управлению режимами электроэнергетических систем на основе так называемых «разумных сетей».

Одной из проблем применения указанных силовых преобразователей в электроэнергетике является низкая методическая проработка вопросов расчета токов короткого замыкания и выбора уставок устройств релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) как самих ВПТ, так и примыкающих сетевых элементов. Целью исследований являлась разработка методики выполнения расчета и выбора уставок устройств РЗА сети 220 кВ, примыкающей к ПС 220 кВ Могоча, где в IV квартале 2013 года предполагается установка реверсивной ВПТ, которая позволит работать объединенной энергосистеме (далее – ОЭС) Сибири и ОЭС Востока в режиме параллельной несинхронной связи. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- составить схему замещения ВПТ;
- оценить зону влияния ВПТ;
- определить максимальные и минимальные режимы работы энергосистем в контексте поставленной цели.

Решение обозначенных задач производилось в рамках программного комплекса «АРМ СРЗА» производства ПК «Бриз», г. Новосибирск, применяемого в Филиалах ОАО «ФСК ЕЭС» и Филиалах ОАО «СО ЕЭС», для расчета и выбора уставок устройств РЗА.

2. СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ВПТ

На ПС 220 кВ Могоча предполагается установка реверсивной ВПТ на основе преобразователей напряжения с полностью управляемыми вентилями¹ мощностью 200 МВт [1 – 3], в отношении которого при составлении схемы замещения возникает ряд сложностей, обусловленных следующими особенностями:

- нелинейными внешними характеристиками ВПТ;
- влиянием режима работы ВПТ на его схему замещения;
- неопределенностью зоны влияния ВПТ на уровни токов КЗ;
- высоким быстродействием и чувствительностью защит от внутренних повреждений ВПТ наряду с относительно низкой селективностью, что может приводить к отключению ВПТ при внешних КЗ.

Реверсивная ВПТ может работать в режиме автономного питания выделенного узла, а также в режиме параллельной несинхронной связи с направлением перетока в одну или в другую сторону.

В автономном режиме работы ВПТ является источником напряжения и с учетом работы защит от внутренних повреждений работа ВПТ описывается следующей системой нелинейных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{ВПТ} = 38,5 \text{ кВ, если } \begin{cases} I_{ВПТ} < 4 \text{ кА,} \\ U_{ВПТ} > 0,5 \cdot U_{НОМ}, \end{cases} \\ I_{ВПТ_A} \leq 1500 \text{ А,} \\ I_{ВПТ_P} \leq 1000 \text{ А,} \\ E_{ВПТ} = 0, \text{ если } \begin{cases} I_{ВПТ} \geq 4 \text{ кА,} \\ U_{ВПТ} \leq 0,5 \cdot U_{НОМ}. \end{cases} \end{array} \right.$$

где $E_{ВПТ}$ – эквивалентная ЭДС ВПТ на шинах 35 кВ;

$I_{ВПТ}$ – полный выходной (фазный) ток ВПТ;

$I_{ВПТ_A}$ – активная составляющая полного выходного (фазного) тока ВПТ;

$I_{ВПТ_P}$ – реактивная составляющая полного выходного (фазного) тока ВПТ;

$U_{ВПТ}$ – выходное напряжение ВПТ на шинах 35 кВ;

$U_{НОМ}$ – выходное напряжение ВПТ на шинах 35 кВ.

При параллельном несинхронном режиме работы ОЭС Сибири и ОЭС Востока ВПТ играет двоякую роль. Для ОЭС, которая выступает в качестве источника мощности, ВПТ является нагрузкой и может быть представлена в схеме замещения эквивалентным комплексным сопротивлением:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_0 = \infty, \\ Z_1 = \frac{U_{НОМ}^2}{S_{УСТ}}, \\ Z_2 = \infty, \end{array} \right.$$

¹ В качестве полностью управляемых вентилях планируется применять силовые интеллектуальные модули биполярных транзисторов с изолированным затвором [2].

где Z_0, Z_1, Z_2 – сопротивление нулевой, прямой и обратной последовательностей, соответственно;

$U_{НОМ}$ – номинальное напряжение той ступени, к которой приводится сопротивление нагрузки;

$S_{УСТ}$ – номинальное напряжение той ступени, к которой приводится сопротивление нагрузки.

Для ОЭС, которая выступает в качестве потребителя мощности, ВПТ является генератором и может быть представлена в схеме замещения эквивалентным источником тока:

$$I_{A} = \begin{cases} \frac{P_{УСТ}}{\sqrt{3} \cdot |U_{Ш1}|} \cdot e^{j \cdot \text{Arg}(U_{Ш1})}, \left| \frac{P_{УСТ}}{\sqrt{3} \cdot |U_{Ш1}|} \right| < I_{A_MAX}; \\ I_{A_MAX} \cdot \text{sign}(P_{УСТ}) \cdot e^{j \cdot \text{Arg}(U_{Ш1})}, \left| \frac{P_{УСТ}}{\sqrt{3} \cdot |U_{Ш1}|} \right| \geq I_{A_MAX}. \end{cases}$$

$$I_{R} = \begin{cases} j \cdot \left(\frac{U_{УСТ} - |U_{Ш1}|}{U_{НОМ}} \right) \cdot \frac{100}{k_C} \cdot I_{R_MAX} \cdot e^{j \cdot \text{Arg}(U_{Ш1})}, \left| \frac{U_{УСТ} - |U_{Ш1}|}{U_{НОМ}} \right| < 1; \\ j \cdot I_{R_MAX} \cdot e^{j \cdot \text{Arg}(U_{Ш1})}, \left| \frac{U_{УСТ} - |U_{Ш1}|}{U_{НОМ}} \right| \geq 1. \end{cases}$$

где I_A – активная составляющая прямой последовательности выходного тока ВПТ;

I_{A_MAX} – максимально-допустимое значение активной составляющей прямой последовательности выходного тока ВПТ;

I_R – реактивная составляющая прямой последовательности выходного тока ВПТ;

I_{R_MAX} – максимально-допустимое значение реактивной составляющей прямой последовательности выходного тока ВПТ;

$P_{УСТ}$ – уставка выходной мощности ВПТ;

$U_{УСТ}$ – уставка напряжения прямой последовательности на шинах ВПТ;

$U_{Ш1}$ – напряжение прямой последовательности на шинах ВПТ;

$U_{НОМ}$ – номинальное значение напряжения прямой последовательности на шинах ВПТ.

Согласно [4] алгоритм расчета аварийных параметров заключается в процедуре нахождения эквивалента сети (с заложенным, при необходимости, в нее повреждении), подстановке полученных значений эквивалента в приведенное выше выражение для активной и реактивной составляющей токов. Найденные значения источников токов приводятся к эквивалентному источнику ЭДС, который уже и используется для расчета аварийных параметров.

Приведенный алгоритм характеризуется достаточно большой сложностью и весьма низкой практической ценностью. Объясняется это тем, что программный комплекс «АРМ СРЗА» производства ПК «Бриз», г. Новосибирск, применяемый для расчета и выбора уставок устройств РЗА в Филиалах ОАО «ФСК ЕЭС» и Филиалах ОАО «СО ЕЭС», не позволяет решать нелинейные уравнения, а также в нем не предусмотрена возможность получения эквивалента сети с заложенным в нее повреждении.

В связи с вышесказанным было предложено моделировать ВПТ двумя эквивалентными цепочками для каждой части (западной и восточной). Расчет аварийных параметров осуществляется отдельно для каждой части (секционные выключатели, соединяющие западную и восточные части КРУЭ 220 кВ нормально отключены). При этом в зависимости от рассматриваемого режима (передача либо прием мощности через ВПТ) остается включенной одна из цепочек (генераторная или нагрузочная).

3. ОЦЕНКА ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ВПТ

Влияние ВПТ заключается в возможном неселективном отключении внешних поврежденных прилегающей сети. Объясняется это крайне низкой перегрузочной способностью силовых полупроводниковых приборов². При этом будет складываться режим, когда ВПТ будет шунтироваться секционными выключателями для обеспечения селективного отключения поврежденного элемента сети, что требует проверки устройств РЗА в зоне влияния ВПТ на соответствие коэффициента чувствительности при каскадном отключении.

Проблему оценки зоны влияния ВПТ на уровни аварийных параметров в прилегающей сети и оценки зоны чувствительности защит от внутренних повреждений ВПТ предлагается решать путем итеративного расчета по следующему алгоритму:

- Расчет токов КЗ в контрольных точках сети с формированием в отчете «АРМ СРЗА», помимо параметров аварийных величин в месте КЗ, параметров ВПТ (фазные токи и напряжения). Контрольные точки выбираются с последовательным удалением от места установки ВПТ;
- Сравнение параметров ВПТ с уставками защит от внутренних повреждений (выявление возможности работы защит от внутренних повреждений ВПТ);
- В случае, если для рассматриваемой контрольной точки сети выявлена возможность работы защит от внутренних повреждений ВПТ, устройства РЗА элементов сети, примыкающих к контрольной точке, проверяются на предмет соответствия коэффициента чувствительности при каскадном отключении в соответствии с действующими руководящими указаниями.

Все расчеты производятся отдельно для участков сетей, расположенных по сторонам от ВПТ. В качестве обоснования применимости такого подхода выступает независимость систем управления выпрямительной и инверторной частей ВПТ.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫЕ И МИНИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Предлагаемый вариант решения рассматриваемой проблемы заключается в эквивалентировании схемы замещения ВПТ для характерных режимов сети, используемых при расчетах и выборе уставок устройств РЗА (максимальный и минимальный режимы). Это позволяет избавиться от необходимости решать нелинейные уравнения и значительно упростить процедуру.

В качестве минимального режима сети для каждой из ОЭС выступает режим, когда выделенная нагрузка ОЭС питается от ВПТ. В этом случае ВПТ представляется в схеме замещения эквивалентным источником ЭДС, внутреннее сопротивление которого определяется по выражениям:

$$\begin{cases} R0 = \infty \\ R1 = \frac{U_{НОМ}^2}{P_{МАХ}}, \text{ Ом} \\ R2 = \infty \end{cases}$$
$$\begin{cases} X0 = \infty \\ X1 = \frac{U_{НОМ}^2}{Q_{МАХ}}, \text{ Ом} \\ X2 \end{cases}$$

² Защита от перегрузки имеет 2 ступени: 1 ступень действует при перегрузке по току 25% со временем 0,02 с, вторая ступень действует при перегрузке по току 10% со временем 0,1 с.

где $R0$, $R1$, $R2$ – активное сопротивление нулевой, прямой и обратной последовательностей эквивалентного источника, соответственно;

где $X0$, $X1$, $X2$ – активное сопротивление нулевой, прямой и обратной последовательностей эквивалентного источника, соответственно;

$U_{НОМ}$ – номинальное значение выходного напряжения ВПТ;

$P_{МАХ}$ – максимальное значение активной мощности ВПТ;

$Q_{МАХ}$ – максимальное значение реактивной мощности ВПТ.

В качестве максимального режима сети для каждой из ОЭС выступает режим параллельной несинхронной работы. При этом расчеты необходимо проводить для обоих направлений потоков мощности.

Для ОЭС, принимающей мощность, ВПТ в схеме замещения будет представлена источником ЭДС с внутренним сопротивлением, указанным выше. Для ОЭС, передающей мощность, ВПТ в схеме замещения будет представлено нагрузкой с сопротивлением, указанным выше.

Другими словами, характеристики ВПТ были аппроксимированы для характерных режимов работы сети.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам выполненной работы были получены методические указания по составлению схемы замещения ВПТ, которая может использоваться в программном комплексе «АРМ СРЗА». На основе полученной схемы замещения была выполнена оценка зоны влияния ВПТ, что позволило определить состав устройств РЗА, для которого требуется произвести проверку защит на соответствие чувствительности и селективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет по научно-исследовательской работе «Разработка принципов режимного и противоаварийного управления в ОЭС Востока и ОЭС Сибири при объединении их на параллельную несинхронную работу через Забайкальский преобразовательный комплекс на ПС Могоча». Исследование аварийных и послеаварийных режимов (отключение линий и генераторов) и определение законов управления мощностью генераторов электростанций и УМС в данных режимах. Выбор видов возможных управляющих воздействий и определение перечня режимной информации, необходимой для реализации законов управления. ОАО «НИИПТ», Санкт-Петербург, 2007 г., Инв. № 121-КТ.

2. Отчет по работе на оказание научно-технических услуг «Анализ характеристик межсистемной связи ОЭС Сибири – ОЭС Востока с ЗБПК на ПС Могоча и разработка предложений по организации РЗА, режимного и противоаварийного управления объединяемых энергосистем». «Цифровая модель ОЭС Востока, Забайкальской части ОЭС Сибири и Забайкальского преобразовательного комплекса на ПС 220 кВ Могоча в формате ПВК EUROSTAG». ОАО «НИИПТ», Санкт-Петербург, 2009 г., Инв. № 257-КТ.

3. Отчет по работе на оказание научно-технических услуг «Анализ характеристик межсистемной связи ОЭС Сибири – ОЭС Востока с ЗБПК на ПС Могоча и разработка предложений по организации РЗА, режимного и противоаварийного управления объединяемых энергосистем». «Расчеты электрических режимов ОЭС Сибири и ОЭС Востока при работе ЗБПК, анализ пропускной способности сети и определение объемов необходимых средств компенсации реактивной мощности». ОАО «НИИПТ», Санкт-Петербург, 2009 г., Инв. № 262-КТ.

4. П2200300-30.0011-Т2-ИС1.РР – Основные технические решения. Информационно-технологические системы. Релейная защита и автоматика ПС 220 кВ Могоча и прилегающей сети. Расчет уставок релейной защиты.